

Integración de experimentos de laboratorio remotos en un entorno ubicuo de aprendizaje

Francisco J. Gómez-Arribas, Susana Holgado, Jorge E. López de Vergara
Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid,
Francisco Tomás y Valiente, 11, 28049 Madrid
{francisco.gomez, susana.holgado, jorge.lopez_vergara}@uam.es

Resumen

El desarrollo de laboratorios de acceso remoto para estudios de Ciencias e Ingeniería es una realidad hoy en día. La Universidad Autónoma de Madrid forma parte de una red educativa que permite realizar experiencias de laboratorio en un marco europeo en el que diversas instituciones comparten los equipos a utilizar para cada práctica.

La aparición de sistemas ubicuos supone afrontar nuevos retos de integración y gestión tanto para los profesores que imparten las prácticas, los técnicos que las mantienen y los alumnos que las realizan. En este artículo se aborda la integración de prácticas de laboratorio en un entorno de aprendizaje ubicuo. Para ello se muestran las características de este tipo de laboratorios, y las mejoras en su funcionamiento y gestión para adaptarlos a dicho entorno de aprendizaje.

1. Motivación

Los laboratorios experimentales resultan imprescindibles en el proceso de aprendizaje de la mayor parte de las disciplinas impartidas en titulaciones de Ingeniería y Ciencias. Tradicionalmente esta enseñanza de tipo práctico se desarrolla en laboratorios presenciales. Sin embargo, las nuevas tecnologías aplicadas a la enseñanza pueden optimizar su funcionamiento y proporcionar una nueva perspectiva tanto en la implementación de nuevas prácticas experimentales de manera ubicua como en la realización del trabajo práctico por parte del estudiante en un entorno de aprendizaje también ubicuo.

Los laboratorios remotos accesibles a través de Internet mediante el uso de tecnologías Web, junto con equipos de medida controlados por

ordenador ya se han demostrado viables en proyectos como Retwine (*REmoTe Worldwide InstrumEnt*) [1][2], y Lab-on-Web [3].

En un laboratorio remoto el estudiante dispone de un conjunto de prácticas que incluyen medidas sobre dispositivos reales, y a las que se accede a través de un navegador Web. Esto permite, en el terreno docente, proporcionar a los estudiantes cursos a distancia basados en la utilización de equipos reales, tanto en laboratorios de Ciencias como de Ingeniería que, hasta el momento, sólo era posible realizar a través de simulaciones. Con todo ello no se pretende la sustitución de las prácticas en laboratorios presenciales, sino que se propone el laboratorio remoto como complemento al aprendizaje, aportando nuevos experimentos y resolviendo problemas de infraestructura que pueden aparecer en las prácticas *in situ*, como la congestión de los espacios físicos dedicados a ello o la confección de horarios para el reparto en grupos de los estudiantes.

Por otro lado, nada impide que los experimentos accesibles en remoto estén distribuidos físicamente entre varios centros docentes formando un laboratorio ubicuo que aúne así los esfuerzos económicos derivados de la compra de material, al compartir el uso de los equipos y redundando en un aprovechamiento mucho más eficiente de los recursos disponibles. En esta línea, la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid (EPS-UAM) ha formado parte del proyecto eMerge (*Educational network structure for disseMination of real laboratory Experiments to suppoRt enGineering Education*) [4] donde se ha desarrollado una estructura de red educativa avanzada e innovadora que permite la difusión de experimentos de laboratorio accesibles por Web, dando soporte a la enseñanza tanto de Ingeniería como de Ciencias. Esto involucra la extensión de las tecnologías a varias instituciones que pertenecen, incluso, a países diferentes. Además, implica la integración

de los laboratorios remotos de cada institución participante, así como de los servicios comunes necesarios para el control de acceso y la seguridad.

Un paso adicional para este tipo de laboratorios es el que brinda el proyecto U-CAT (*Ubiquitous Collaborative Adaptive Training, Aprendizaje Adaptativo Colaborativo y Ubicuo*) [5]. Dicho proyecto parte de estos sistemas de acceso distribuido a laboratorios como uno de los posibles escenarios de aplicación de un entorno ubicuo en el que los alumnos de un centro pueden aprovechar las capacidades que les brinda dicha plataforma para mejorar su aprendizaje. Para ello es necesario estudiar las características de estos laboratorios y su posterior integración en dicho entorno, como se describe en este artículo.

La sección siguiente introduce las características de los laboratorios remotos a partir de los presenciales. Tras ello, se presentan las características de los sistemas de acceso a laboratorios remotos y las posibilidades que permiten su ubicuidad geográfica. Finalmente, se presenta en mayor detalle la arquitectura propuesta en U-CAT para analizar en qué términos afecta a la integración de los laboratorios en este entorno ubicuo.

2. Laboratorio presencial

Como ya se ha comentado anteriormente, los laboratorios accesibles en remoto no pretenden, en ningún caso, sustituir las prácticas de laboratorio *in situ*, que continúan siendo imprescindibles en los cursos de Ingeniería y Ciencias.

Los laboratorios de disciplinas como Electrónica, Informática o Física, que conllevan una equipación especial son algunos de los que más problemas podrían generar. Para optimizar el uso del laboratorio es necesario establecer horarios de utilización del mismo, repartiendo a los estudiantes en grupos más fácilmente gestionables. Toda esta organización conlleva una serie de problemas relacionados con el espacio físico y el material de utilización en prácticas que va en aumento a medida que crece el número de estudiantes que realizan las prácticas de laboratorio. Este hecho es particularmente importante en estudios como Informática, Telecomunicaciones o Electrónica, donde

tradicionalmente el número de estudiantes matriculados por curso es bastante elevado.

Nuestra experiencia se basa en los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior de la UAM (materias de Electrónica en Informática y Telecomunicación) y en los laboratorios de Ciencias de la UAM (Física). En ambos casos, los laboratorios deben ser compartidos por estudiantes de distintas disciplinas y de distintos cursos, lo que hace que la gestión del espacio y la elaboración de grupos sea aún más complicada.

Esta situación podría verse muy favorecida compatibilizando el laboratorio presencial con el remoto. Esto es, que los estudiantes pudieran tener acceso, a través de Internet, a las prácticas de laboratorio y realizarlas desde cualquier sitio, en el campus o fuera de él, a cualquier hora y empleando cualquier dispositivo de comunicación: ordenador, teléfono móvil o PDAs (*Anywhere at any time on any device*).

3. Laboratorio remoto

El concepto de utilización remota de recursos no es nuevo, como muestra la integración de equipos de medida programables a través de Internet [1-4]. Esto, junto al gran impacto que continúa teniendo Internet, se ha traducido en un gran interés por abrir una nueva vía que permita dotar a los estudiantes, habituados al entorno Web, de una forma de acceso remoto a instrumentos y equipos de medida a través de un entorno visual.

En la EPS-UAM se han desarrollado este tipo de laboratorios remotos dentro de un marco de colaboración con otras universidades europeas que tuvo su comienzo con el proyecto Retwine (*REmoTe Worldwide INSTRUMENT*). Debido a que los integrantes del proyecto tienen experiencia en el ámbito de la educación y la investigación en Arquitectura de Ordenadores, Redes de Comunicación y Electrónica, los experimentos se han centrado principalmente en el campo de la microelectrónica y de los sistemas electrónicos digitales. Sin embargo, la tecnología desarrollada es totalmente genérica

3.1. Características de los experimentos propuestos

Los experimentos de laboratorio realizados con equipos de medida compartidos mediante el

acceso en remoto a través de Web aportan las siguientes ventajas características:

- El aprendizaje a distancia por parte de los alumnos sin restricciones de tiempo o limitaciones de distancia.
- La utilización por parte de los alumnos de material caro al que no tendrían acceso en el laboratorio tradicional.
- Compartir equipos entre laboratorios de diferentes universidades a nivel nacional o internacional.

Por último, hay que destacar la escalabilidad del laboratorio remoto, siendo posible añadir equipos de instrumentación a medida de las necesidades, y también, su extensión a potenciales usuarios de pequeña y mediana empresa que necesiten hacer un uso puntual de un equipo costoso de instrumentación.

3.2. Un Laboratorio remoto con equipos de medida accesible por Web

A raíz del proyecto Retwine, se ha diseñado un laboratorio Web en el que se realizan medidas sobre dispositivos reales en base a la arquitectura esquematizada en la figura 1. Se consigue acceder

al equipo de forma remota, de manera que no haya diferencias apreciables con la realización de la práctica de forma presencial frente a los equipos de medida. El objetivo inicial ha sido compartir múltiples equipos de medida a través de Internet. Se parte de equipos de medida conectados entre sí mediante un bus GPIB (Norma IEEE-488). Un ordenador con una tarjeta controladora GPIB, al que denominamos servidor de instrumentación, es el nexo de unión entre los equipos de medida. El servidor de instrumentación es gobernado por el servidor Web. Este último es el encargado de gestionar el acceso al equipo. La conexión entre estos dos ordenadores se realiza mediante una red Ethernet Local, y es a través del servidor Web como se proporciona el acceso a Internet. Se ha definido un protocolo genérico de envío de comandos y respuestas, de tal manera que sea independiente del equipo a controlar. De esta manera se dispone de una plataforma versátil en la que resulta fácil incorporar nuevo instrumental de medida.

El usuario debe acceder al equipo desde una página Web y en ella, mediante una aplicación desarrollada en Java y ejecutable desde el Navegador, se accede a la interfaz gráfica o

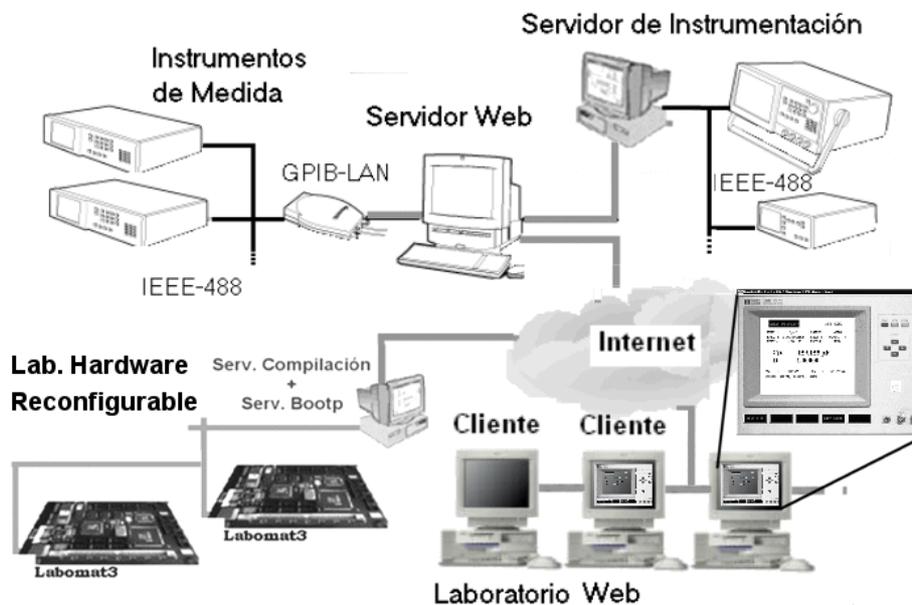


Figura 1. Laboratorio Web con equipos de medida y sistemas reconfigurables accesibles en remoto

instrumento virtual. Desde esta página Web, el usuario puede realizar las medidas y controlar el equipo de medida, pulsando directamente sobre los botones que aparecen en el gráfico que representa el panel frontal del equipo, como si estuviera operando con el equipo real.

Adicionalmente se han desarrollado interfaces para el usuario de forma que permita a los estudiantes recibir los datos en un formato adecuado, tales como gráficos o tablas. Los datos resultantes pueden guardarse localmente en el PC para una posterior manipulación. El ajuste de los datos y la extracción de los parámetros pueden ser realizados por el usuario usando sus herramientas favoritas.

4. Laboratorio ubicuo: experimentos integrados en un marco europeo.

Los experimentos ofertados en servidores locales por las diferentes universidades permiten la creación de laboratorios ubicuos en toda Europa. Desde este punto de vista la integración de experimentos debe realizarse por los distintos organismos que formen parte de este laboratorio y se han convenido los siguientes requisitos:

- Una organización distribuida que facilite el mantenimiento de los servidores locales
- Un sistema de autenticación centralizado para el acceso a los experimentos.

Con estas especificaciones, en el marco del proyecto europeo eMerge, se ha creado una red educativa que integra los experimentos de laboratorio accesibles en remoto desde Web y cuya arquitectura se detalla a continuación.

4.1. Arquitectura de red

La red del proyecto eMerge ha sido diseñada de forma distribuida. El control de los experimentos de laboratorio y el material de los cursos es gestionado por los servidores locales de las diferentes instituciones involucradas. Cada socio desarrolla y gestiona una serie de contenidos educativos denominados actividades y los comparte con el resto del grupo. Las actividades se corresponden con experimentos de laboratorio, simulaciones de procesos, contenidos de un curso etc. Además, existe un servidor central, también llamado principal, cuyo objetivo es proporcionar

información acerca de los experimentos disponibles y verificar las condiciones para dar acceso al estudiante a las actividades de los servidores locales. El servidor principal centraliza la gestión de usuarios, la lista de actividades, el calendario de las actividades que pueden realizar estos usuarios y el proceso de añadir o eliminar actividades. La estructura que describe esta arquitectura se representa en la Figura 2.

4.2. El servidor principal y los servicios

En la estructura de red de eMerge, el servidor principal tiene por objetivo ofrecer diversos servicios a los usuarios y administradores locales del proyecto y está formado por un servidor Web y un conjunto de servicios. El servidor Web se comunica con los servidores locales y éstos a su vez pueden disponer de sus propios servicios locales. En el esquema de la arquitectura también se muestra un diagrama de los servicios incluidos en el servidor principal. El servidor Web es el elemento principal de la estructura, actuando como un portal de acceso para los usuarios.

Hay tres servicios que están disponibles en el servidor principal diferenciados del servicio Web: el servicio de directorio, el servicio de gestión de usuarios y el servicio de reservas. Además de la estructura distribuida, que permite que los servicios puedan implementarse en diferentes ordenadores, también se muestra el flujo de comunicación con el usuario y los servidores locales. La función de cada servicio es la siguiente:

- El servicio de gestión de usuarios mantiene

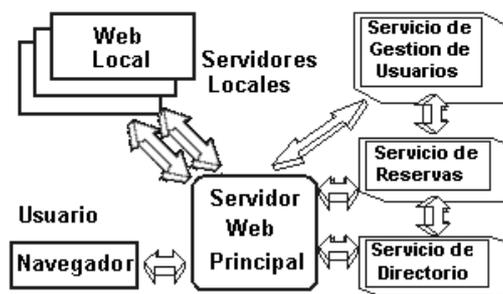


Figura 2. Arquitectura de la red eMerge

información acerca de los usuarios registrados. Además permite la creación o eliminación de cuentas de usuario, la modificación por parte de un usuario de sus datos o de su perfil.

- El servicio de directorio almacena información relacionada con el contenido educativo que puede ser accedido por los usuarios registrados. Ofrece una lista de las actividades que pueden ser realizadas. Toda esta información se muestra en una página Web accesible a través del servidor Web.
- El servicio de reservas mantiene la información acerca de la disponibilidad de cada una de las actividades proporcionadas en el laboratorio. Cuando un usuario quiere ejecutar una actividad, debe previamente realizar una reserva de un intervalo de tiempo, de modo que se asegure acceso exclusivo al equipo de medida durante ese tiempo.

4.3. Comunicación con los servicios

La comunicación entre el servidor Web principal y los servicios se realiza usando el protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol) [6]. SOAP es un protocolo para el intercambio de mensajes, que usa XML como lenguaje de codificación y, normalmente, HTTP como mecanismo de transporte. SOAP permite la comunicación entre máquinas en un entorno distribuido y descentralizado, cuya ventaja fundamental es su independencia de la plataforma y lenguaje de programación. Su ámbito de aplicación está orientado a escenarios tipo petición-respuesta, como puede ser RPC (Remote Procedure Call). Su uso proporciona las ventajas de un estándar aceptado a nivel mundial, de forma que la interacción de nuestros servicios desarrollados con aplicaciones externas se pueda llevar a cabo fácilmente. Al usar el estándar SOAP como protocolo para el intercambio de mensajes en servicios Web [7], el sistema puede integrarse de forma sencilla con otros servicios Web proporcionados por entidades externas. Debido a que SOAP ha sido ampliamente aceptado, hay librerías disponibles para una gran variedad de lenguajes de programación como C++, Python o PHP. Además, plataformas modernas como Java2 Enterprise Edition (J2EE) o

.NET incluyen soporte SOAP en sus librerías de clases estándar.

En la comunicación del servidor Web con los servicios, el primero está actuando como cliente SOAP, y éstos últimos actúan como servidores SOAP. El servidor Web realizará una llamada remota a los métodos ofertados por los servicios a través de una petición SOAP. Una vez que el servicio ha ejecutado el método correspondiente, devuelve un resultado al servidor Web, también mediante un mensaje SOAP. Ahora el servidor Web generará una página Web de respuesta con los datos recibidos del servicio, y se la enviará al usuario

5. Entorno de Aprendizaje Ubicuo

La misma tecnología desplegada para la realización de laboratorios ubicuos, es utilizable para conseguir que el trabajo práctico de cada estudiante se aborde como una tarea en un entorno de aprendizaje también ubicuo.

El proyecto U-CAT tiene como objetivo desarrollar un entorno integrado que facilite la realización de actividades educativas desde cualquier lugar mediante la utilización de distintos dispositivos físicos (ordenadores personales, portátiles, teléfonos móviles y PDAs), y en diferentes contextos y situaciones, incluyendo aprendizaje colaborativo en el aula y en el laboratorio. La idea es aprovechar en la medida de lo posible las posibilidades de la computación ubicua para la realización de actividades docentes individuales o en colaboración con otros usuarios. En los sistemas actuales de aprendizaje no se dispone de la integración en el entorno educativo de las tecnologías de inteligencia ambiental, sistemas ubicuos, sistemas hipermedia adaptativos y trabajo colaborativo basado en el ordenador, y este es precisamente el fin que persigue U-CAT.

La arquitectura del sistema, como puede verse en la Figura 3, consta de cuatro capas que integran los distintos servicios que compondrán el sistema: una capa de redes y dispositivos, otra de contexto y otra de adaptación e interacción, sobre la que se desplegarán los demostradores que validarán la funcionalidad del servicio. En otro plano se realizará la gestión de todas las capas de la arquitectura.

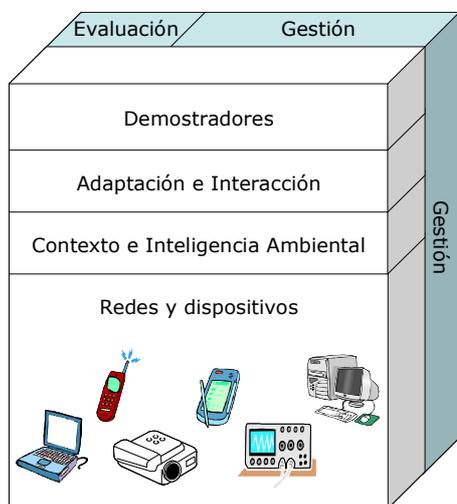


Figura 3. Arquitectura del sistema

Una vez que la arquitectura esté implementada, será necesario comprobar, en su conjunto, cómo se está comportando la aplicación. Para ello se realizará una evaluación de la aplicación completa.

6. Integración de laboratorios remotos en U-CAT

La integración de los laboratorios anteriormente descritos dentro del entorno ubicuo de aprendizaje propuesto en U-CAT permite escenarios en los que cada estudiante debe resolver ciertas tareas en colaboración con otros, integrando las soluciones parciales que hayan elaborado en otro momento, colaborando en dicha integración, y aprovechando en cualquier caso las características del entorno ubicuo para acceder a los recursos de los laboratorios desde cualquier dispositivo, cualquier momento y cualquier lugar.

El entorno puede, por ejemplo, aprovecharse en este contexto por el profesor para ilustrar conceptos en las aulas donde se imparten clases teóricas. También se puede utilizar para que los alumnos puedan repasar dichos resultados y experimentar con las prácticas propuestas, ya sea en el campus (donde estarían integrados los laboratorios presenciales con los ubicuos), en el transporte a casa o en las distintas configuraciones de un hogar inteligente como el propuesto en [8].

Para ello es necesario disponer los recursos de laboratorio existentes en este entorno ubicuo, actuando sobre todas las capas de la arquitectura, descrita anteriormente (redes y dispositivos, contexto y adaptación e interacción):

- **Redes y dispositivos:** Esta capa se encarga de controlar las comunicaciones entre los dispositivos y el conjunto de servidores que suministran y gestionan los recursos, así como los accesos de los usuarios y los terminales desde donde acceden. El servicio de gestión de usuarios que permite los accesos remotos a los laboratorios debería integrarse con esta capa, teniendo en cuenta que ahora la autenticación puede realizarse de manera vocal, por tonos telefónicos o por teclado, dependiendo del dispositivo de acceso, y permite interactuar con otros servicios del entorno de aprendizaje.
 - **Contexto:** Este entorno ubicuo es conocedor del contexto del usuario (identidad de éste, tarea que está realizando, objetivos, otros usuarios presentes, situación en la que se encuentra, etc.) y de los dispositivos disponibles para interactuar con él (dispositivos de entrada/salida disponibles en cada momento: PDAs, teclados o ratón, distintos tipos de pantalla, voz, etc.). En este caso es necesario integrar los servicios de directorio, reservas y usuarios de los laboratorios, teniendo como novedad que el sistema es proactivo, y propone a los usuarios qué prácticas se pueden llevar a cabo dependiendo de los recursos disponibles que más se ajusten al contexto de los alumnos en cada momento.
 - **Adaptación e interacción:** En relación con las prácticas propuestas a los usuarios, éstas además deberán adecuarse al contexto del usuario en cada momento, adaptándose la interfaz (vocal, WML, HTML, applets o midlets, etc.) y la complejidad según el nivel alcanzado por el usuario. En este caso es necesario integrar las interfaces de acceso a los laboratorios remotos en este sistema adaptado, limitando las tareas a realizar según las posibilidades del dispositivo de acceso.
- Cara a llevar a cabo la integración de los laboratorios según los puntos anteriores en un entorno heterogéneo como el descrito, es importante el uso de tecnologías que sean

interoperables, tales como los Servicios Web, que permiten aislar a través de interfaces WSDL las implementaciones de los servicios, como quedó demostrado en el proyecto eMerge..

Así mismo, se propone emplear un sistema que mantenga los entornos de trabajo de cada usuario que conserve de forma persistente la información relativa a las tareas de cada uno. Los experimentos que funcionen en este entorno ubicuo se ejecutan en segundo plano, y el usuario no accede a ellos directamente, sino que utiliza la información disponible en su entorno de trabajo, que es el que se encarga de ir recopilando la información. Este mecanismo permite independizar los experimentos de laboratorio que se están realizando del dispositivo de acceso, pudiéndose adaptar la información disponible en cada momento (estado del experimento, resultados, etc.) a cada contexto. Por otro lado, este mecanismo también permite la colaboración entre los distintos alumnos, mediante la compartición de dicho entorno de trabajo. Además, los profesores pueden controlar las actividades realizadas por cada uno de los alumnos mediante la auditoría de dichos entornos de trabajo.

Por otra parte, existe la necesidad de estudiar la forma en que se está comportando el entorno ubicuo en su conjunto, atendiendo a las distintas funciones que se llevan a cabo para prestar los servicios que se hayan definido. En este sentido, es importante realizar tareas de gestión que permitan controlar el sistema. Para ello es necesario definir la información de gestión de acuerdo al modelo FCAPS (*Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security*), como también se hace en [9], aunque aplicado a un ámbito más general que la gestión de contexto:

- En lo que se refiere a la gestión de fallos se pueden estudiar cuestiones como el tiempo de disponibilidad del sistema y el número de fallos en cada uno de los componentes del sistema. Para el caso concreto de los laboratorios esto permitiría a sus técnicos detectar posibles problemas en el desarrollo de las prácticas y resolverlos más fácilmente.
- La gestión de configuración es muy importante en un entorno ubicuo en constante cambio, siendo necesario proporcionar una visión del estado de ejecución del sistema, así como las distintas configuraciones debidas a

los distintos escenarios de aplicación. Asimismo, la configuración de las prácticas de los laboratorios se puede integrar en esta funcionalidad.

- La gestión de contabilidad permite anotar el uso que hace cada usuario del sistema, considerando posibles repercusiones de coste. Esto es de especial importancia para realizar acuerdos que permitan acceder a recursos de laboratorios de universidades externas.
- La gestión de rendimiento posibilita el análisis de los tiempos de respuesta de los distintos módulos para identificar posibles cuellos de botella. Esta gestión aplicada a las prácticas puede ayudar a definir los tiempos de reserva para cada equipo de medida que sean adecuados en las distintas prácticas a realizar.
- La gestión de seguridad también es importante en este entorno ubicuo, pudiéndose contabilizar los intentos de accesos no permitidos al sistema, para evitar posibles malos usos de la aplicación. En el caso de los laboratorios, en el que los equipos de medida tienen un coste elevado y tienen que ser compartidos por muchos usuarios, hay que preservar su seguridad.

En base a la información de gestión definida es posible posteriormente dotar a las aplicaciones del código que permita mantener y proporcionar dicha información, aplicando las técnicas de gestión de aplicaciones distribuidas [10]. No obstante, la heterogeneidad debida al entorno ubicuo impone una complejidad añadida que debe ser analizada.

7. Conclusión y trabajo futuro

Se ha presentado la viabilidad tecnológica de los laboratorios remotos y su desarrollo aplicado a estudios de Ciencias e Ingeniería. La aparición de sistemas ubicuos supone afrontar nuevos retos de integración y gestión tanto para los profesores que imparten las prácticas, los técnicos que las mantienen y los alumnos que las realizan.

En el proyecto U-CAT se aborda desde un punto de vista multidisciplinar la integración de actividades educativas en un entorno de aprendizaje ubicuo, colaborativo y adaptativo. En este trabajo, como primera aproximación, se ha presentado una arquitectura de varios niveles siguiendo la especificación del proyecto UCAT

para incorporar laboratorios remotos a este entorno de aprendizaje.

El proceso de implementación ha aprovechado la infraestructura previa existente, desarrollada en proyectos anteriores. Los servicios de autenticación de usuarios, directorio y reservas son adaptables a este entorno ubicuo en el que es necesario tener en cuenta la información relativa al contexto de los usuarios. En el estado actual del proyecto se están validando las especificaciones, realizándose ajustes para integrar los distintos módulos y servicios que aporta cada uno de los equipos de trabajo del proyecto U-CAT.

Una vez concluida esta fase de desarrollo, el trabajo futuro consistirá en desplegar los demostradores para su puesta en funcionamiento en un entorno real, aprovechando las infraestructuras disponibles en la EPS-UAM.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto U-CAT (TIN2004-03140)

Referencias

- [1] Cabello, R., González, I., Gómez F.J., Martínez, J., "A Web Laboratory for a Basic Electronics Course". Proceedings of the World conference of the WWW and Internet. WebNet 2001, Vol 1, Orlando USA Oct 2001, pp. 816- 821
- [2] Gómez, F.J., Cervera M., Martínez J., "A World Wide Web Based Architecture for the Implementation of a Virtual Laboratory". Proceedings of the 26th Euromicro Workshop On Multimedia And *Telecommunications.*, Vol II, Netherland Sept 2000, pp. 56-62
- [3] Fjeldly, T. A, Shur, M. S., "Electronics Laboratory Experiments Accessible via Internet,". LAB-on-the-WEB, Running Real Electronics Experiments via the Internet, T. A. Fjeldly and M.S. Shur, eds., John Wiley & Sons, New York (2003). ISBN: 0-471-41375-
- [4] The eMerge project: <http://www.emerge-project.net>
- [5] Proyecto U-CAT: <http://orestes.ii.uam.es/ucatt>
- [6] Mitra, N. SOAP Version 1.2 Part 0:Primer.W3C Recommendation 24 June 2003.
- [7] W3C Web Services Activity. <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [8] Haya, P.A., Montoro, G., Alamán, X. A prototype of a context-based architecture for intelligent home environments. International Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS 2004), Larnaca, Cyprus. October 25-29, 2004. LNCS 3290, Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- [9] Hegering, H.G., Küpper, A., Linnhoff-Popien, C., Reiser, H. Management Challenges of Context-Aware Services in Ubiquitous Environments. Proceedings of the 14th IFIP/IEEE Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM 2003), Heidelberg, Germany, October 2003, LNCS 2867, pp. 246-259, Springer Verlag. ISSN 0302-9743.
- [10] Villagrà, V.A., Asensio, J.I., López-de-Vergara, J.E., Berrocal, J.J., Pignaton, R. An approach to the transparent management instrumentation of distributed applications. Proceedings of the Eighth IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'2002), 15-19 April 2002. Florence, Italy. ISBN 0-7803-7382-0